

ОДЕССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

на правах рукописи

КУПРОВСКИЙ ВИКТОР ИВАНОВИЧ

УДК 621.396.96:621.391.26

СИНТЕЗ ЗОНДИРУЮЩИХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ВЫДЕЛЕНИЯ СИГНАЛОВ  
НА ФОНЕ МЕШАЮЩИХ ОТРАЖЕНИЙ

05.12.13 – Устройства радиотехники и средств связи

05.12.04 – Радиолокация и радионавигация

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Одесса – 1994



Работа выполнена в Одесском университете.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор, академик В.М. Кошевой.

Научный консультант - кандидат технических наук, профессор Ю.С. Ямпольский.

Официальные оппоненты:

- доктор технических наук, зав. кафедрой радиотехнических систем политехнического университета Баранов Порфирий Ефимович;
- кандидат технических наук, зав. отделом №1 СПКБ "Дискрет" Мелешкевич Александр Николаевич.

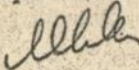
Ведущая организация - Научно-исследовательский институт "Квант", г. Киев.

Защита диссертации состоится 15 сентября 1994г. на заседании специализированного Совета Д 068.19.01 в Одесском государственном политехническом университете по адресу: 270044, г.Одесса, пр-кт Шевченко, 1, конференцзал ДК ОПУ в 14.00

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан 8 августа 1994г.

Ученый секретарь специализированного  
Совета Д 068.19.01

 Ю.С. Ямпольский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Проблема повышения помехозащищенности радиотехнических систем (РТС) и устройств является весьма актуальной и до сих пор не нашла удовлетворительного решения в большинстве прикладных задач. Решению этой проблемы способствует комплексное использование различных методов и средств: сигналов сложной формы, оптимальных методов их обработки, быстродействующей цифровой техники, современных технологий, организационных мер. С появлением сложных многофункциональных РТС, характеризующихся жесткими требованиями к подавлению помех, с особой остротой ставится вопрос об использовании дополнительных резервов, заложенных в тонкой структуре зондирующего сигнала (ЗС). В соответствии с этим наряду с разработкой оптимальных алгоритмов обработки сигналов не утратила актуальности задача поиска новых типов ЗС с учетом широкого внедрения в технику радиоэлектронных устройств когерентных методов обработки, специализированных вычислительных комплексов, изделий функциональной микроэлектроники.

Наблюдаемость полезных сигналов на фоне интенсивных помеховых отражений можно значительно улучшить за счет оптимального (для данной помеховой обстановки) выбора параметров и структуры зондирующего сигнала. Поэтому с практической точки зрения актуальным является не только синтез ЗС, но и разработка простого и эффективного устройства формирования такого сигнала для работы в заданных условиях.

Комплексное решение указанных задач позволит в значительной степени преодолеть имеющиеся противоречия и сформировать зондирующий сигнал, отвечающий предъявляемым требованиям.

Цель работы. Решение задачи синтеза зондирующих сигналов для работы в условиях мешающих отражений (МО), отвечающих следующим основным требованиям:

- универсальность сигналов с точки зрения получения функций неопределенности (ФН) или взаимных функций неопределенности (ВФН) требуемой формы;
- возможность реализации заданной структуры ФН (ВФН) при изменении ограниченного числа параметров сигналов;
- простота технической реализации устройств формирования синте-

зированных ЗС на элементах цифровой микроволновой техники.

#### Задачи исследований:

1. Формулировка и решение задачи синтеза ЗС в подклассе составных многофазных сигналов (СМС).
2. Разработка комплекса моделирующих программ и всестороннее исследование ФН и ВФН синтезированных сигналов при изменении их параметров, законов модуляции и условий обработки.
3. Разработка цифровых устройств формирования ЗС, обеспечивающих возможность гибкого изменения структуры сигналов в широких пределах в реальном масштабе времени. Выработка рекомендаций для их практического использования.

Методы исследований. При решении поставленных задач использовались прикладные методы функционального анализа, статистической теории радиолокации, обработки сигналов, спектральной теории сигналов и методы математического моделирования на ЭВМ.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

1. Доказано, что синтезированный СМС является универсальным с точки зрения получения ФН, характерных для ФН сигналов различных классов.
2. Установлено, что изменение формы ФН (ВФН) в широких пределах обеспечивается при изменении минимального числа параметров синтезированного сигнала. Выявлена степень влияния параметров сигнала на структуру ФН (ВФН), рассмотрены предельные соотношения между отдельными параметрами, позволяющие получить ряд новых свойств ФН составного многофазного сигнала.
3. Сформулированы условия, которым должны удовлетворять параметры синтезированного сигнала для получения ФН (ВФН) требуемой формы. Получены выражения, связывающие форму ФН (ВФН) СМС со значениями основных параметров сигнала.
4. Обоснована принципиальная возможность цифрового способа формирования синтезированного составного сигнала на основе быстродействующего ПЗУ, который обеспечивает работу в реальном масштабе времени и оперативную смену сигнала. Разработаны схемы цифровых устройств формирования СМС и алгоритмы их функционирования. Показано, что разработанные устройства позволяют формировать дискретные модулирующие последовательности (ДМП) с законами фазовой модуляции, изменяющимися в широких пределах при изменении

ограниченного числа параметров, определяющих режим работы схем.

Практическая ценность результатов работы состоит в том, что решена задача синтеза ЗС для работы в условиях мешающих отражений, обеспечивающего возможность гибкого изменения структуры ФН (ВФН) при изменении ограниченного числа параметров сигнала. Разработан комплекс программ, позволяющих проводить всестороннее исследование ФН (ВФН) СМС с учетом воздействия коррелированных и некоррелированных помех. Разработаны схемы цифровых устройств формирования синтезированного сигнала в виде модульных структур различной степени сложности.

Реализация результатов исследований. Результаты теоретических и практических исследований, изложенные в диссертационной работе, являются частью НИР, проводимой в рамках Программы фундаментальных и поисковых исследований в интересах обороны Украины, утвержденной 7 августа 1992г. Внедрение результатов работы проводилось в рамках НИР в интересах НПО "Фазотрон" (г.Москва) в 1991-1992г.г. На основе проведенных исследований разработан комплекс демонстрационно-исследовательских программ, который составил основу цикла лабораторных работ для изучения курса "Теоретические основы помехозащиты" студентами, обучающимися по специальности 23.01 "Радиотехника".

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на Украинском республиканском семинаре "Вероятностные модели и обработка случайных сигналов и полей", Черкассы, 1991г.; на научно-технических конференциях студентов и молодых исследователей ОдГПУ (1992, 1993г.г.); на научных семинарах преподавателей и сотрудников кафедры РТУ ОдГПУ.

Публикации. По теме диссертации опубликованы работы [1-5].

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, приложения и списка литературы из 173 наименований. Содержит 191 страницу, включая 127 страниц основного текста, 41 страницу рисунков, список литературы на 16 страницах и приложение на 7 страницах.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Результаты решения задачи синтеза ЗС для работы в условиях мешающих отражений в подклассе СМС и основные свойства его ФН.
2. Оценка структуры функции неопределенности СМС с помощью топог-

рафических сечений и основные соотношения, связывающие форму ФН (ВФН) с параметрами закона фазовой модуляции синтезированного сигнала.

3. Результаты исследования тонкой структуры и свойств ФН (ВФН) СМС при изменении параметров сигналов, законов фазовой модуляции и условий их обработки.

4. Схемы цифровых устройств формирования синтезированных сигналов модульного типа и алгоритмы их функционирования.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследований, сформулированы цель и основные положения диссертации.

В первом разделе проведен обзор литературных источников, из которого следует, что одной из наиболее трудных и часто встречающихся на практике проблем, когда конструктивные параметры ЗС могут заметно влиять на результаты работы РТС, является задача выделения полезного сигнала на фоне МО. Решение этой проблемы в общем случае можно выразить в виде условий, которым должна удовлетворять ФН или ВФН сигнала. Обычно при проектировании ЗС стремятся получить больше свободных областей в распределении неопределенности, что в данном случае можно рассматривать в качестве основного критерия при выборе сигнала. В результате анализа подходов к формированию сигналов с малым уровнем боковых лепестков (БЛ) ФН в классе дискретных фазомодулированных сигналов можно заключить, что в большинстве случаев речь идет об уменьшении уровня БЛ автокорреляционной (АКФ) или взаимокорреляционной функции или обеспечении хороших корреляционных свойств в заданном сечении ФН (ВФН). Однако для решения задач радиолокации и, в частности, для работы в условиях МО, необходим сигнал, который бы, во-первых, обеспечивал заданные свойства ФН (ВФН) не только в каком-то сечении, но и на плоскости неопределенности; во-вторых, позволял изменять структуру ФН (ВФН) в широких пределах в соответствии с заданным критерием при изменении ограниченного числа параметров; в-третьих, был бы универсальным для многих практических применений и допускал простую техническую реализацию. Более всего перечисленным требованиям удовлетворяют составные

сигналы и, в частности, составные многофазные сигналы.

На основании проведенного обзора сформулирована цель и основные задачи исследований.

Во втором разделе сформулирована и решена задача синтеза ЗС в подклассе СМС. В большинстве современных РТС предусмотрена возможность работы с несколькими типами ЗС. В соответствии с этим возникает проблема синтеза сигнала, который бы в максимальной степени соответствовал совокупности решаемых задач. В основу решения задачи синтеза ЗС положен подход, заключающийся в отыскании структуры синтезируемого сигнала, обеспечивающей желаемые свойства ФН (ВФН). С учетом ограничений, накладываемых на класс допустимых структур, синтез сводится к отысканию оптимальной структуры, дающей наилучшее приближение к желаемым свойствам. Задача синтеза в такой постановке тесно связана с задачей аппроксимации. Общее выражение для ВФН простейшего СМС может быть записано в виде

$$\chi_{sw}(\tau, f) = \sum_{k_0=1}^{N_B-1} \sum_{k_1=0}^{N_B-k_0} \chi_p(\tau - (k_0 + k_1 N_B) T_0, f) \chi_{sw}^B(k_0, f) \chi_{sw}^S(k_1, f),$$

где  $\chi_{sw}^S(\tau, f)$ ,  $N_B$ ,  $\chi_{sw}^B(\tau, f)$ ,  $N_B$  - ВФН и число импульсов базовой и внешней последовательностей соответственно. Из его анализа видно, что если ВФН базовой и внешней последовательностей имеют, например, гребнеобразную структуру, можно за счет соответствующего выбора направления гребней получить ВФН результирующей последовательности, характеризующуюся наличием областей с малым уровнем БЛ. Решая задачу синтеза многофазной последовательности, имеющей ФН, наименее отклоняющуюся от гребнеобразной, используем метод построения одноканального сигнала, основанный на идее минимизации критерия близости. Критерием близости будем считать расстояние  $d$  в пространстве сигналов  $N$  между законами фазовой модуляции (ФМ) ЛЧМ-сигнала и искомого сигнала. Значения фаз сигнала, доставляющие минимум  $d$ , определяются из соотношения:

$\varphi_n = \pi B [2n - (N+1)]^2 / 4N^2$ , где  $n=1, \dots, N$ ;  $B$  - база ЛЧМ-сигнала. Тогда выражение для кода ФМ СМС примет вид

$$\varphi_n = \pi \left\{ \alpha' [2n_0 - (N_B + 1)]^2 + \beta' [2n_1 - (N_B + 1)]^2 \right\} / 4, \quad (1)$$

где  $\alpha' = \alpha T_0^2$ ,  $\beta' = \beta (N_B T_0)^2$  - параметры, определяющие направление гребней базовой и внешней последовательностей;  $n_0 = n - E[(n-1)/N_B]$ ;

$n_1 = E[(n-1)/N_E] + 1$ ;  $E[x]$  - целая часть числа  $x$ .

Из полученных результатов следует, что ФН (ВФН) СМС, характеризующиеся наличием свободных областей с малым уровнем БЛ, можно получить при изменении фаз составляющих последовательностей по квадратичным законам с различной крутизной и шагом дискретизации.

В третьем разделе проведено всестороннее исследование тонкой структуры и свойств ФН составного многофазного сигнала.

Показано, что вокруг центрального пика (ЦП) ФН СМС формируется свободная область  $S_{ABCD}$ , уровень БЛ, размеры и конфигурация которой определяются параметрами:  $\alpha'$ ,  $\beta'$ ,  $N_E$ ,  $N_B$ . На основании анализа топографических сечений ФН получены выражения для оценки размеров свободной области для произвольных параметров СМС. Показано, что: а) нормированное значение  $S_{ABCD}$  определяется числом дискретов  $N = N_E N_B$ , а также соотношением между  $N_E$  и  $N_B$ ; б) при  $\alpha' = -1/N_E$ ,  $\beta' = 1/N_B$ ,  $N_E = N_B$  площадь  $S_{ABCD}$  максимальна, а уровень БЛ в ее пределах оценивается величиной  $1/N_E$ .

2. Представлены результаты исследований структуры ФН при изменении параметров, определяющих код ФМ результирующей последовательности (1). Показано (п.3.2), что изменяя соотношения между  $N_E$  и  $N_B$ , можно получить ФН, соответствующую сигналам различных классов (рис.1,2). Установлено, что изменение  $\beta'$  в 5...10 раз

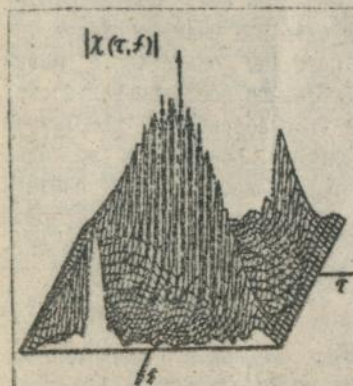


Рис.1

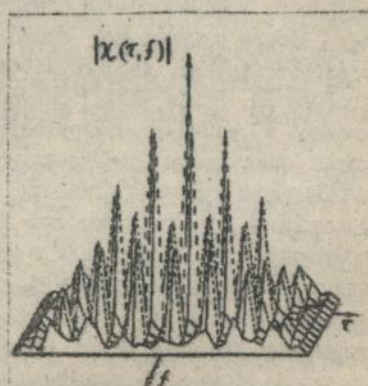


Рис.2

вызывает разворот ФН на плоскости неопределенности без ее замет-

ного искажения, а изменение  $\alpha'$  в 1,5...2 раза приводит к значительным изменениям формы ФН.

3. Анализ предельных соотношений между параметрами СМС позволил выявить ряд свойств, расширяющих возможности его практического применения. Так, при  $N_B \gg N_B$  значения фаз результирующей последовательности определяются только параметрами  $N_B, \alpha'$ . При  $N_B = 1, N_B = N \gg 1$  СМС можно рассматривать как обычный большебазовый сигнал с законом изменения фазы:  $\varphi_n = \alpha' n [2n - (N+1)]^2 / 4$ . Доказано, что при определенных значениях  $\alpha'$  закон ФМ такого сигнала эквивалентен закону ФМ СМС такой же длительности (п.3.3), а его ФН обладает свойствами как обычного, так и составного многофазного сигнала. Это обусловлено периодичностью изменения фазы. На рис.3 кривая 1 отображает значения фаз обычного большебазового сигнала, а кривая 2 соответствует тем же значениям, но уменьшенным с учетом целого числа периодов  $2\pi$ . Но такой закон ФМ имеет СМС, у которого  $N_B = N_B, \alpha' = -1/N_B, \beta' = 1$  (рис.2). Если же значения фаз обычного сигнала не превышают  $2\pi$ , то его ФН по форме совпадает с изображенной на рис.1.

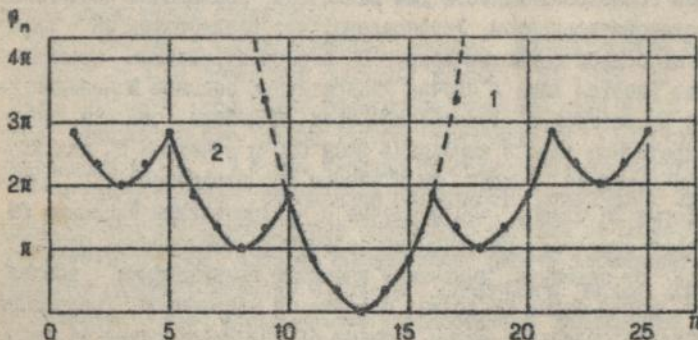


Рис.3

Поведение ФН между двумя рассмотренными случаями позволяет установить более общий спектральный подход. Изменение параметра  $\alpha'$ , вызывающее изменение величины скачка фазы от дискрета к дискрету, эквивалентно изменению частоты дискретизации сигнала. Фазомодулированный импульс, состоящий из  $N$  дискретов длительностью  $T_0$ , имеет спектр, периодический по частоте с периодом  $2\pi/T_0$ .

Если частота дискретизации взята выше  $2F$ , где  $F$  - максимальная частота спектра сигнала, то соседние спектры не перекрываются и не вызывают частотных искажений сигнала, что соответствует условию  $\alpha < 1/T_0^2(N-1)$ . В случае  $\alpha = 1/T_0^2(N-1)$  частота дискретизации равна  $1/2T_0$ , а ФН имеет форму, показанную на рис.1. При  $\alpha > 1/T_0^2(N-1)$  происходит перекрытие соседних амплитудных спектров дискретной последовательности, что приводит к сильной изрезанности результирующего спектра, изменению структуры сигнала и формы его ФН. При  $\alpha' = -1/T_0^2 N$  ФН приобретает регулярную многопиковую форму (рис.2) со свободной областью вокруг ЦП ФН. Ее площадь для больших  $N$  совпадает с площадью свободной области СМС при оптимальных значениях параметров. Из полученных результатов следует, что фазомодулированный сигнал большой длины с квадратичным законом ФМ позволяет формировать ФН, характерные для СМС, при изменении единственного параметра  $\alpha'$ .

4. Представлены результаты исследований формы ФН синтезированных сигналов при отклонении законов ФМ составляющих последовательностей от квадратичных (п.3.4). Получены выражения кода ФМ результирующей последовательности для различных комбинаций составляющих последовательностей. Установлено, что реализовать ФН с выраженной свободной областью вокруг ЦП в рассматриваемом подклассе сигналов удастся лишь в случае квадратичных законов изменения фаз базовой и внешней последовательностей. Показано, что при линейно-квадратичном законе изменения фазы СМС и нечетном  $N_B$  или квадратично-линейном законе ФМ и четном  $N_B$ , параметры  $\alpha', \beta'$  влияют на форму ФН слабее, чем в случае с квадратичными законами ФМ. Это может оказаться полезным при случайных отклонениях параметров  $\alpha', \beta'$  от заданных, вызванных внешними возмущающими воздействиями, когда форма ФН должна оставаться неизменной. Требования к свободной области с малым уровнем БЛ в данном случае не являются определяющими.

Четвертый раздел посвящен анализу и оптимизации ФН синтезированных сигналов.

1. Определены требования к ЗС и способу его обработки, которые обеспечивают максимальную помехоустойчивость при работе в условиях МО. Проанализировано влияние ФН и ВФН на величину коэффициента помехоустойчивости. Эффективное подавление помех типа МО не-

посредственно связано с условиями полного подавления БЛ ВФН в заданной области. Обработка СМС с целью получения нулевых зон требуемой величины производилась в оптимальном фильтре, структура которого описывается выражением  $W_{\text{опт}} = D_0^{-1} S$ , где  $S$  – вектор весовых коэффициентов сигнала,  $D_0$  – корреляционная матрица помех. Исследована эффективность такой обработки в зависимости от размеров и конфигурации нулевых зон в окрестности ЦП при различной структуре  $D_0$  (п.4.2). Установлено, что если размеры нулевой зоны не превышают предельно допустимых для данного вида обработки ( $k_l < N$ , где  $k, l$  – максимальные размеры нулевой зоны вдоль осей  $t$  и  $f$  соответственно), то мешающие отражения могут быть подавлены до уровня тепловых шумов, а нормированные значения главного пика ВФН  $A_n$  уменьшаются на (3...5)дБ. Показано, что изменяя значения параметров  $\alpha'$  и  $\beta'$  относительно оптимальных ( $\alpha' = -1/N_B, \beta' = 1/N_B$ ), можно увеличить  $A_n$  по сравнению с  $A_n$  для их оптимальных значений. Так, если нулевая зона выбрана вдоль оси задержек, а ее площадь приближается к  $N$ , то максимальное значение  $A_n$  будет иметь при значениях  $\alpha'$  меньше или  $\beta'$  – больше оптимальных. При этом отклонения параметров не должны трансформировать ВФН в качественно новую структуру.

2. Обработка СМС с использованием весовых коэффициентов Дольфа-Чебышева (п.4.3) позволяет снизить уровень БЛ ВФН до уровня -35дБ. При этом происходит расширение главного пика в 1,3...1,35 раза, уменьшение его амплитудного значения на (1,5...2)дБ и уменьшение в 1,6...1,7 раз площади свободной области вокруг ЦП.

В пятом разделе обоснована возможность цифрового способа формирования синтезированного составного сигнала на основе быстрого действующего ЦЗУ, который обеспечивает работу формирователя в реальном масштабе времени с учетом оперативной смены сигнала, записанного в ЦЗУ. Представлены разработанные устройства формирования ДМП для составных многофазных сигналов различной структуры, описаны алгоритмы их функционирования и возможности по формированию ДМП. На рис.4 показана схема цифрового устройства формирования ДМП для СМС, состоящего из базовой и одной внешней модулирующей последовательности. В основу его работы положена зависимость крутизны фазы сигнала, считываемого из ЦЗУ, от дискретности опроса адресных ячеек. Крутизна фазы

считываемых сигналов определяется значениями коэффициентов деления  $k_B, k_B$ , с которыми производится опрос соответствующих ПЗУ. Если формируемый сигнал состоит из  $N_B$  дискретов базовой и  $N_B$  дискретов внешней последовательностей, то устройство позволяет получить  $N_{Bo}/N_B = p_B$  ДМП с различной крутизной изменения фазы для базового сигнала и  $N_{Bo}/N_B = p_B$  - для внешнего, где  $N_{Bo}, N_{Bo}$  - число фаз опорных сигналов, записанных в соответствующих ПЗУ.

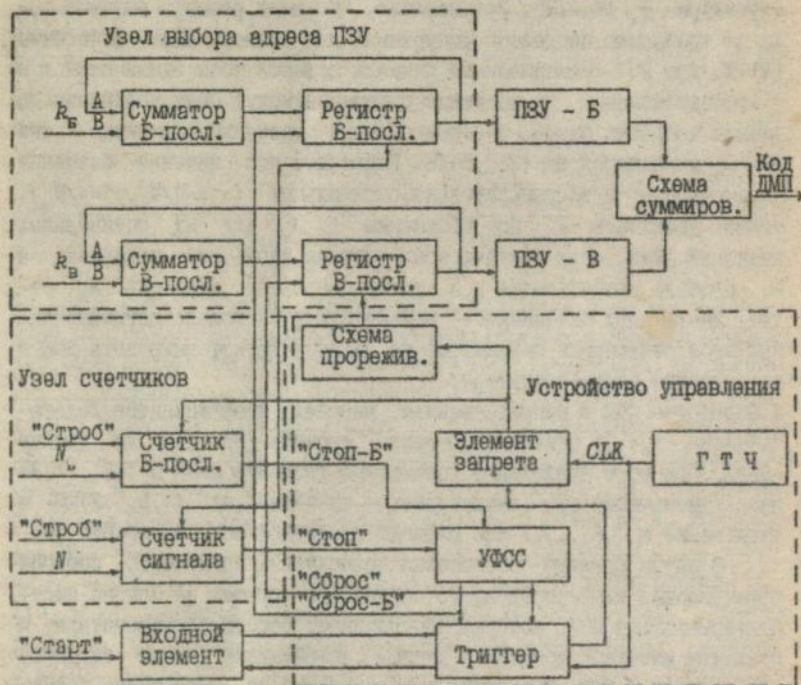


Рис. 4

Коэффициенты деления, с которыми производится опрос ПЗУ, изменяются в пределах

$$1 < k_B < p_B, \quad 1 < k_B < p_B.$$

Изменение  $k_B$  эквивалентно изменению параметра  $\alpha'$ , а  $p_B$  - изменению  $\beta'$  в выражении (1). Связь между параметрами опорных сигналов, записанных в ПЗУ, и считываемых сигналов с заданным законом ДМ, определяется выражениями

$$\sqrt{\alpha^*} \frac{N_E - 1}{N_{E_0} - 1} < \sqrt{\alpha_0^*} < \sqrt{\alpha^*}; \quad \sqrt{\beta^*} \frac{N_E - 1}{N_{E_0} - 1} < \sqrt{\beta^*} < \sqrt{\beta^*}. \quad (2)$$

Быстродействие устройства не зависит от сложности алгоритма формирования ДМП, а определяется быстродействием элементов схемы и скоростью опроса ячеек ПЗУ. Время выборки адреса ПЗУ на ИМС серии 27256 или К573РФ8А не превышает 300 нс. Остальные элементы, собранные на ИМС серии К555, обеспечивают работу с частотой переключения 15 МГц.

Разработана схема универсального Q-канального устройства, позволяющего формировать СМС с (Q-1) внешней последовательностью. Каждый из каналов выполнен в виде самостоятельного модуля и может быть использован как автономно, так и в сочетании с любым количеством других каналов. Выбор каналов определяется желаемой структурой формируемой ДМП, а количество используемых каналов — числом внешних модулирующих последовательностей. Данное устройство обеспечивает организацию работы группы каналов для одновременного формирования  $Q/Q_{гг}$  ДМП, где  $Q_{гг}$  — число групп каналов. Количество каналов в группах и закон их объединения в группы могут быть различными.

#### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Сформулирована и решена задача синтеза сигнала для работы в условиях мешающих отражений в подклассе составных многофазных сигналов с квадратичными законами ФМ составляющих последовательностей. Сделан вывод о возможности снижения уровня БЛ и формирования свободной области вокруг ЦП ФН составного сигнала за счет соответствующей ориентации на плоскости неопределенности ФН составляющих последовательностей. Доказана универсальность синтезированного сигнала с точки зрения получения ФН (ВФН) требуемой формы при изменении ограниченного числа параметров сигнала.

2. Определены выражения для обобщенной оценки площади свободной области вокруг ЦП и площади ЦП СМС при произвольных значениях параметров сигнала и конфигурации свободной области. Полученные соотношения позволяют по заданной величине отношения площадей, характеризующих параметры ЦП и свободной области, выбрать необходимое число импульсов в последовательностях, при которых это

отношение может быть достигнуто. Установлена зависимость между соотношением числа импульсов составляющих последовательностей произвольного СМС и параметрами  $\alpha'$  и  $\beta'$ , определяющими ориентацию гребней их ФН на плоскости неопределенности.

3. В результате исследования тонкой структуры СМС установлен характер влияния его отдельных параметров на форму ФН. Сделан вывод, что результирующая ФН составного сигнала более критична к изменению параметров базовой последовательности, чем внешней.

4. Рассмотрены предельные соотношения между числом импульсов базовой и внешней последовательностей. Доказано, что в случае  $N_B = 1$ ,  $N_B = N \gg 1$  СМС обеспечивает возможность получения ФН различной формы при изменении единственного параметра  $\alpha'$ . Получены значения  $\alpha'$ , максимизирующие размеры свободной области вокруг ЦП ФН. Показано, что при  $N \gg 1$  площадь свободной области такого сигнала равна площади свободной области СМС с  $N = N_B N_B$  ( $N_B = N_B$ ).

5. Изучены свойства СМС с комбинированными законами ФМ составляющих последовательностей. Показано, что степень влияния параметров  $\alpha'$ ,  $\beta'$  на форму ФН в этом случае уменьшается. Сделан вывод о возможности использования комбинированных законов ФМ при случайных отклонениях их значений от заданных, когда требования к свободной области с малым уровнем БЛ не являются определяющими.

6. Исследована возможность формирования нулевых зон ВФН при обработке СМС в оптимальном фильтре. Установлено, что эффективность обработки определяется в основном размерами и конфигурацией нулевой зоны. В тех случаях, когда размеры нулевой зоны не превышают размеров свободной области вокруг ЦП ФН, нормированные значения главного пика ВФН меньше соответствующих значений главного пика ФН на (3...5)дБ независимо от того, в какой части свободной области ФН расположена нулевая зона.

7. Разработаны схемы цифровых устройств формирования ДМП для СМС с различным числом внешних модулирующих последовательностей. Показано, что разработанные устройства позволяют формировать ДМП с законами ФМ, изменяющимися в широких пределах при изменении ограниченного числа параметров, определяющих режим работы схем. Быстродействие разработанных устройств не зависит от сложности алгоритма формирования ДМП, а определяется скоростью опроса ПЗУ и быстродействием элементов схем.

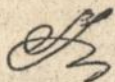
8. По своим свойствам и, в частности, применительно к работе в условиях МО, СМС обладают рядом преимуществ по сравнению с другими фазомодулированными сигналами. Основными из них являются:

- изменение структуры сигнала в широких пределах не требует аппаратных изменений в предлагаемых устройствах их формирования;
- высокая гибкость изменения структуры СМС обеспечивается при изменении ограниченного числа параметров сигналов;
- простота соотношений, связывающих основные параметры СМС с формой их ФН (ВФН) и высокая эффективность оптимизации ВФН при обработке составных сигналов в оптимальных фильтрах;
- простота технической реализации и универсальность устройств формирования СМС.

Основные результаты диссертации отражены в работах:

1. Кошевой В.М., Купровский В.И. Исследование свойств ВФН составных многофазных сигналов//Изв. вузов СССР. Радиоэлектроника.-1991.-Т.34, №8.-С.63-66.
2. Кошевой В.М., Купровский В.И. Анализ взаимной функции неопределенности составного многофазного сигнала//Деп. в НИИЭИР, сб. реф. депонированных рукописей.-1990.-Вып. N10, ВИМИ, N3-8791.
3. Кошевой В.М., Купровский В.И. Весовая обработка составных многофазных сигналов с использованием квазиоптимальных весовых коэффициентов в классе составных фильтров// Деп. в НИИЭИР, сб. реф. депонированных рукописей.-1991.-Вып. N5, ВИМИ, N3-8846.
4. Кошевой В.М., Купровский В.И. Некоторые предельные соотношения для функций неопределенности составных многофазных сигналов// Деп. в НИИЭИР, сб. реф. депонированных рукописей.-1991.-Вып. N10, ВИМИ, N3-8890.
5. Кошевой В.М., Купровский В.И. Синтез составных многофазных сигналов с заданными свойствами взаимной функции неопределенности// Вероятностные модели и обработка случайных сигналов и полей: Украинская респ. школа-семинар, Черкассы, 1991.-С. 116.

Соискатель



В.И. Купровский

AB 30.589

AB 30.589